



# Avaliação das Propriedades Físicas e Condutividade Hidráulica de Solos Contaminados por Derivados de Petróleo

CONSTANCIO, M. A.<sup>(1)</sup>, LINTZ, R. C. C.<sup>(2)</sup>, CONSTANCIO, D.<sup>(3)</sup>, ZATTA, M. P.<sup>(4)</sup>

**RESUMO** - O solo durante muito tempo foi considerado um receptor ilimitado de substâncias nocivas descartáveis como o lixo doméstico e resíduos industriais, com base em seu suposto potencial de autodepuração. Levando-se em consideração a preservação do Meio Ambiente este trabalho visa analisar os efeitos da poluição no solo, avaliando as propriedades físicas e a condutividade hidráulica dos mesmos, através da análise do coeficiente de permeabilidade (k), segundo a Lei de Darcy para regime de fluxo laminar de um solo, e compara esses parâmetros obtidos em solos “sãos”, com os obtidos em solos contaminados por derivados de petróleo, em específico, o óleo diesel. Os solos ensaiados apresentam diferentes granulometrias, sendo um predominantemente arenoso, um siltoso e um argiloso. As amostras coletadas foram avaliadas quimicamente para a obtenção de parâmetros de contaminação. Pode-se concluir que, para a argila ocorreu um aumento da permeabilidade.

## Introdução

Segundo Brady [1] existem três conclusões principais que poderão ser tiradas acerca dos solos, no que se refere ao meio ambiente:

- considerando que os solos se constituem em recurso inestimável, deverão ser protegidos da contaminação ambiental, sobretudo daquela que lhes aflige danos permanentes;
- face a sua vastidão e notável capacidade de absorver, unir e desagregar os materiais adicionados, dispõem os solos de mecanismos promissores para descarte e utilização de muitos despejos que, de outro modo, contaminariam ainda mais o meio ambiente;
- os produtos das reações do solo poderão ser tóxicos ao homem e aos outros animais após se deslocarem para a atmosfera e sobretudo para a água.

Observa-se que as características de capacidade de percolação de fluido no solo e suas propriedades físicas têm sido alvo de muitos estudos, e que refletem a preocupação do meio técnico em termos do comportamento destes materiais frente a sua utilização em obras de engenharia. Tais estudos têm tradicionalmente considerado, uma possível interferência desta percolação no comportamento mecânico dos solos, como adensamento, resistência e compactação. Recentemente a avaliação das propriedades hidráulicas dos solos passou a ter um papel fundamental em atividades relacionadas à disposição de resíduos, a qual pode proporcionar a

percolação de fluidos potencialmente poluidores do subsolo, Ribeiro [2].

Com a implantação da resolução CONAMA N° 273 em 29 de novembro de 2000 e com a aplicação da mesma em todo território nacional através dos órgãos ambientais como o CETESB, FEAMA, entre outros e com a obrigatoriedade de todos os postos de combustíveis do Brasil, empresas de ônibus e de transportadoras rodoviárias, a executar um passivo ambiental para avaliar as condições de contaminação de solo e água por BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno) em suas dependências, torna-se indispensável o estudo do comportamento dos solos contaminados por esses contaminantes, e principalmente para permitir a descoberta de novos métodos de remediação e descontaminação.

Com vistas a adquirir melhor compreensão da maneira que os solos devem ser utilizados e ao mesmo tempo ser protegidos nas tarefas de manuseio dos despejos, neste trabalho são analisados os solos antes e depois da contaminação com o óleo diesel, e verificada a ocorrência de mudanças nas características físicas e da condutividade hidráulica.

**Palavras-Chave:** Solos Contaminados, Investigação e Caracterização de solos, Geotecnia Ambiental.

## Materiais e métodos

Numa primeira etapa foram coletadas as amostras deformadas de solo em campo, na Região Metropolitana de Campinas, utilizando-se trado, pá e escavadeira manual, transportados para o laboratório da PUC- CAMPINAS, em recipientes que evitam perda significativa da umidade para a realização dos seguintes ensaios:

### A. Classificação Pedológica

- Solo predominantemente arenoso: solo aluvionar, característico de marginais de rios coletado na cidade de Americana, no estado de São Paulo.
- Solo predominantemente siltoso: solo residual, proveniente da decomposição de rochas ígneas ou magmáticas, intrusivas ou plutônicas do tipo granito, coletado na cidade de Vinhedo, no estado de São Paulo.
- Solo predominantemente argiloso: solo residual, proveniente da decomposição de rochas ígneas ou magmáticas, extrusivas ou vulcânicas do tipo basalto colunar, coletado na cidade de Santa Bárbara D'Oeste, no estado de São Paulo.

### B. Análise Tátil e Visual

O objetivo desse ensaio é a identificação preliminar do solo pelas suas características simples através da visão e do

tato, como plasticidade, textura, desagregação de solo submerso, impregnação e dispersão em água. Foram realizados ensaios simples cuja descrição detalhada pode ser obtida em Nogueira [3].

#### C. Teor de Umidade dos Solos (w)

O Teor de umidade natural do solo é a relação entre o peso da água e o peso dos sólidos, e tem como objetivo o conhecimento das condições naturais do solo e a sua capacidade de absorção. O ensaio foi executado segundo o método prescrito pela NBR 6457, que descreve também os métodos de preparação das amostras para os outros ensaios laboratoriais.

#### D. Determinação do Peso Específico Natural dos Solos ( $\gamma_n$ )

O peso específico natural do solo é a relação entre o peso da amostra (sólidos, e água) e o seu volume total. O ensaio foi realizado conforme a NBR 10838(MB 2887), utilizando-se a balança hidrostática. Os corpos-de-prova foram moldados em laboratório com padronização de energia para os 3 tipos de solo e talhados em forma esférica.

#### E. Determinação do Peso Específico dos Sólidos ( $\gamma_s$ )

O peso específico dos sólidos é a relação entre o peso seco e o volume das partículas de solo, que passam pela peneira de malha quadrada 4,8 mm. O ensaio seguiu as prescrições da NBR 6508 e os métodos de ensaio da CESP MSL 03, realizado por meio de um picnômetro. Dependendo dos minerais constituintes do solo, tem-se a variação do peso específico dos sólidos, mostrando o “histórico” do solo, ou seja, sua origem. Os valores estão sempre próximos a 2,70  $\text{gf/cm}^3$ , chegando em alguns solos que contém minério de ferro a valores superiores a 3,0  $\text{gf/cm}^3$  (Pinto [4]).

#### F. Índices Físicos – Correlações

De posse dos resultados de todos esses ensaios, é possível calcular mais alguns índices físicos através da correlação de fórmulas, que podem auxiliar na comparação entre os solos, como: peso específico aparente seco, índice de vazios do solo, porosidade e o grau de saturação dos solos (Pinto [4]).

#### G. Compactação por Proctor Normal

Com o objetivo de padronizar os corpos-de-prova utilizados nos ensaios, as amostras foram moldadas segundo as prescrições da NBR 7182, determinando assim a melhor condição de compactação para cada tipo de solo. Através da curva de compactação (peso específico x umidade) foi obtida a umidade ótima para cada tipo de solo, ou seja, a quantidade de água necessária para que cada solo atingisse o maior peso específico.

#### H. Ensaio de Permeabilidade

A permeabilidade é um parâmetro que mede a velocidade aparente de percolação de um fluido em um

meio poroso. O coeficiente de permeabilidade ou coeficiente de Darcy é definido como a velocidade média de percolação da água em um meio poroso, sob condições de fluxo laminar, através de uma seção deste meio sob um gradiente constante de valor unitário, à temperatura de 20 °C. Foram utilizados os corpos-de-prova moldados através do método do proctor normal.

Esse ensaio foi realizado seguindo as prescrições da NBR 13292 e os métodos de ensaio da CESP MSL 09 e MSL 13 com o objetivo de se obter o coeficiente de permeabilidade do solo.

Depois de obtidos os parâmetros do solo sem poluentes, foram acondicionadas outras amostras dos mesmos solos, em três recipientes em PVC rígido de cor branca com 1,20 metros de altura e 0,10 metros de diâmetro (figura 1), separados por suas granulometrias. Os tubos foram preenchidos com solo até 1,00 metro de altura e adicionado 1,00 litro de óleo diesel em cada tubo de PVC, simulando um vazamento de combustível.

Durante um período de 30 dias, o contaminante fluiu entre os vazios do solo, observando-se em cada coluna de solo o tempo de percolação do diesel.

O tubo foi desmontado e o solo foi novamente analisado, executando-se todos os ensaios citados novamente. Outros dois ensaios referentes à análise do contaminante foram realizados:

#### I. Medida de Vapores Orgânicos

A medição de vapores orgânicos e hidrocarbonetos do solo, foi realizada com o equipamento Gastech Innova-SV para analisar o solo quanto a sua contaminação (figura 2).

#### J. Análise Química dos Solos

Foram retiradas uma amostra de cada tipo de solo e encaminhadas ao laboratório para a análise química de BTEX e PAH'S, para se obter os teores de contaminação para posteriormente se comparar os valores com os limites estabelecidos pelo órgão ambiental da CETESB.

### **Resultados**

Os resultados dos ensaios realizados são apresentados nas tabelas comparativas 1,2,3. A medida de vapores com o Gastech está apresentada na tabela 4 com os valores médios de 9 amostras de solo.

A contaminação do solo através do aparato foi feita em 30 dias. Na areia observou-se que em 12 horas, o fluido já havia atingido o fundo da coluna, enquanto no silte e na argila, aos trinta dias o fluido não havia percorrido 1,00 m de solo (figura 3).

### **Discussão**

Na primeira etapa de ensaios notou-se que não houve grandes alterações nas características físicas do solo.

O peso específico dos sólidos, que se refere às características dos grãos, não foi muito alterado, como se esperava. O peso específico natural e o índice de vazios se alteraram, em função da viscosidade do fluido de diesel, que é maior que a da água. Após a moldagem do corpo-de-prova, observou-se que o óleo diesel saía facilmente da

amostra devido ao excesso, que não foi absorvido pelos grãos de solo.

Outro detalhe interessante foi a mudança de cor que ocorreu no silte quando colocado na estufa, para a cor cinza.

Os ensaios químicos e de vapores orgânicos mostraram que a porcentagem de contaminante é considerada alta, ou seja, bem concentrada, tornando o solo inadequado para os padrões de qualidade. Por fim a permeabilidade dos solos manteve-se muito próxima, aumentando sensivelmente o coeficiente de permeabilidade no silte e areia. Na argila a permeabilidade aumentou. Observou-se ainda que, no ensaio de permeabilidade, quando era realizada a saturação do corpo-de-prova, não saía apenas água mas também o óleo, como se a água “empurrasse” o diesel para fora dos vazios do solo ocupando o seu lugar. Acredita-se que isto se deve ao fato de que a água apresenta um peso específico maior que o do óleo diesel.

Através do aparato de contaminação, pôde-se determinar a velocidade média desse fluido nessas condições do solo como: argila  $V = 3,240 \times 10^{-5} \text{ cm.s}^{-1}$ , silte  $V = 2,855 \times 10^{-5} \text{ cm.s}^{-1}$  e areia  $V = 2,176 \times 10^{-3} \text{ cm.s}^{-1}$ . Essas velocidades foram obtidas observando-se o tempo que o óleo demorou para percorrer a coluna de solo no aparato.

### Conclusões

Através da análise química, realizada num período de trinta dias de contaminação, pode-se notar o quanto o solo estava fora dos padrões adotados pelo CETESB. Pelo fato da permeabilidade do silte e na argila ser mais lenta, observados através do “k”, encontrou-se uma maior concentração do diesel nesses solos, resultando em valores maiores que aqueles apresentados pela areia.

Avaliando-se os resultados obtidos nos ensaios, através do quadro comparativo, pode-se concluir que os parâmetros não sofreram alterações significativas. O solo não absorveu com tanta intensidade o óleo diesel, causando a alteração da estrutura do grão de solo. Então o fluido por ser mais viscoso que a água ocupou

melhor os espaços vazios dos solos: do silte e da areia, impedindo a passagem da água e diminuindo o coeficiente de permeabilidade.

No caso da argila, o resultado foi contrário, pois a permeabilidade aumentou. A conclusão para essa diferença deve-se ao fato da argila ser bastante ativa quimicamente, pelo pequeno tamanho de suas partículas. Devido principalmente as cargas elétricas em sua superfície, a argila, tem afinidade com a água e os elementos químicos nela dissolvidos, e com isso podem ter ocorrido pequenas reações entres os elementos (solo e óleo) alterando suas propriedades hidráulicas, ou simplesmente ter ocorrido maior absorção de óleo pelos grãos, permitindo melhor fluidez da água entre os vazios do solo.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao laboratório de química da Tema Tecnologia em Meio Ambiente Ltda.

### Referências

- [1] BRADY, N. C. Natureza e Propriedades dos solos. 7ª edição. Rio de Janeiro, Livraria Freitas Bastos Editora, 1989.
- [2] RIBEIRO, R.A.V. Avaliação do desempenho hidráulico de barreiras de proteção ambiental produzidas com solo laterítico arenoso compactado estabilizado quimicamente. 2002. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2002.
- [3] NOGUEIRA, J. B. Mecânica dos Solos – Ensaios de Laboratório, 1995, EESC-USP. Departamento de geotecnica.
- [4] PINTO, C. S. Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas, Oficina de textos. São Paulo, 2000.

**Tabela 1.** Comparativo dos resultados (areia)

Areia sem contaminação	a)	Areia contaminada
W = 0,093 %		W = 1,50 %
$\gamma_s = 2,581 \text{ gf/cm}^3$		$\gamma_s = 2,518 \text{ gf/cm}^3$
$\gamma_n = 1,830 \text{ gf/cm}^3$		$\gamma_n = 1,892 \text{ gf/cm}^3$
$\gamma_o = 1,829 \text{ gf/cm}^3$		$\gamma_o = 1,864 \text{ gf/cm}^3$
e = 0,411		e = 0,351
n = 29,13 %		n = 25,98 %
Sr = 0,584 %		Sr = 10,76 %
$K_{20} = 7,600 \times 10^{-3} \text{ cm. s}^{-1}$		$K_{20} = 8,553 \times 10^{-3} \text{ cm. s}^{-1}$

Táctil e Visual: Areia pouco argilosa

**Tabela 2.** Comparativo dos resultados (silte)

Silte sem contaminação	Silte contaminado
W = 1,51 %	W = 3,27 %
$\gamma_s = 2,550 \text{ gf/cm}^3$	$\gamma_s = 2,353 \text{ gf/cm}^3$
$\gamma_n = 2,058 \text{ gf/cm}^3$	$\gamma_n = 2,120 \text{ gf/cm}^3$
$\gamma_0 = 2,027 \text{ gf/cm}^3$	$\gamma_0 = 2,053 \text{ gf/cm}^3$
e = 0,258	e = 0,146
n = 20,50 %	n = 12,74 %
Sr = 14,92 %	Sr = 52,70 %
$K_{20} = 2,065 \times 10^{-7} \text{ cm. s}^{-1}$	$K_{20} = 5,988 \times 10^{-7} \text{ cm. s}^{-1}$
Táctil e Visual: Silte areno-argiloso com presença de mica muscovita	

**Tabela 3.** Comparativo dos resultados (argila)

Argila sem contaminação	Argila contaminada
W = 1,46 %	W = 2,87 %
$\gamma_s = 2,637 \text{ gf/cm}^3$	$\gamma_s = 2,368 \text{ gf/cm}^3$
$\gamma_n = 1,939 \text{ gf/cm}^3$	$\gamma_n = 2,063 \text{ gf/cm}^3$
$\gamma_0 = 1,911 \text{ gf/cm}^3$	$\gamma_0 = 2,005 \text{ gf/cm}^3$
e = 0,380	e = 0,181
n = 27,536 %	n = 15,32 %
Sr = 10,132 %	Sr = 37,55 %
$K_{20} = 4,332 \times 10^{-8} \text{ cm. s}^{-1}$	$K_{20} = 4,649 \times 10^{-7} \text{ cm. s}^{-1}$
Táctil e Visual: Argila arenosa	

**Tabela 4.** Medida de vapores orgânicos

Tipo	Valor médio (ppm)
Areia sem contaminação	0
Areia contaminada	925
Silte sem contaminação	0
Silte contaminado	1702
Argila sem contaminação	0
Argila contaminada	1551



**Figura 1.** Aparato de Contaminação



**Figura 2.** Aparelho Gastech Innova – Sv



**Figura 3.** Aparato aberto



